

ИЗМЕНЕНИЕ ГАЛЬВАНОМАГНИТНЫХ СВОЙСТВ НЕЛЕГИРОВАННОГО АНТИМОНИДА КАДМИЯ ПРИ ЕСТЕСТВЕННОМ СТАРЕНИИ

Б. Н. Грицюк, А. И. Варенко, А. В. Сирота, Д. Д. Халамейда

Институт радиофизики и электроники, 310085, Харьков, Украина

(Получена 28 сентября 1992 г. Принята к печати 21 апреля 1993 г.)

Изучено изменение температурных и магнитопольевых зависимостей коэффициента Холла $R(T)$, $R(H)$, проводимости $\sigma(T)$ и сопротивления $\rho(H)$ нелегированного антимолида кадмия в процессе естественного старения на воздухе при комнатной температуре в течение трех лет. В исходных образцах эти зависимости свидетельствуют о том, что проводимость при низких температурах осуществляется в основном дырками в валентной зоне. $R(T)$, $\sigma(T)$, и $R(H)$, $\rho(H)$ в состарившихся образцах можно объяснить в рамках двухзонной модели проводимости — по валентной и примесной зонам. Предполагается, что появление примесной зоны в состарившихся образцах связано с увеличением в процессе старения концентрации мелких акцепторных центров, обусловленных структурными дефектами преимущественно вблизи поверхности образца.

Временная нестабильность свойств нелегированного антимолида кадмия исследовалась ранее по фотоэлектрическим измерениям при 295 К [1]. Авторами сделан вывод, что естественное старение приводит к образованию поверхностного слоя, свойства которого отличаются от объемных. В данной работе изучено естественное старение CdSb по изменению температурных и магнитопольевых зависимостей коэффициента Холла (R) и проводимости (σ) при низких температурах.

Монокристаллы нелегированного антимолида кадмия выращивались методом зонной плавки в условиях, обеспечивающих как низкую концентрацию точечных дефектов, так и плотность дислокаций [2]. Давление пара Cd над расплавом в процессе выращивания материала составляло 5÷20 мм рт. ст. Исходные образцы имели размеры $5 \times 2 \times 1.6$ мм и ориентировались по длине вдоль кристаллографических направлений [100] либо [010]. Токовые и потенциальные контакты изготавливались путем пайки свинцово-оловянным припоем. После старения образцов в течение трех лет на воздухе при комнатной температуре проводились повторные измерения. Затем образцы подвергались шлифовке и химическому травлению и их свойства изучались снова. Полученные результаты сходны для ориентаций электрического тока (J) вдоль [100] и [010]. В статье приводятся данные для $J // [100]$. Магнитное поле (H) направлено вдоль [010]. На рис. 1 показаны температурные зависимости R и σ для исходного образца (рис. 1, кривая 1), для того же образца, претерпевшего старение (рис. 1, кривая 2) и после обработки поверхности (рис. 1, кривая 3). Цифры 1, 2, 3 везде относятся к названным образцам при соответствующих обозначениях. В исходном образце R и σ с понижением температуры до 4.2 К изменяются по экспоненциальному закону. Естественное старение приводит к изменению вида зависимостей $R(T)$ и $\sigma(T)$. На $R(T)$ появляется максимум, а на $\lg \sigma(1/T)$ — перегиб в области гелиевых температур. Значение $N_A - N_D$ (N_A , N_D — концентрации акцепторов и доноров), определяемое по R , в области температур примесного истощения в процессе старения увеличивается, а энергия ионизации акцепторов ϵ_A , вычисленная по наклону прямой $\lg \sigma(1/T)$, уменьшается (см. таблицу). Снятие повер-

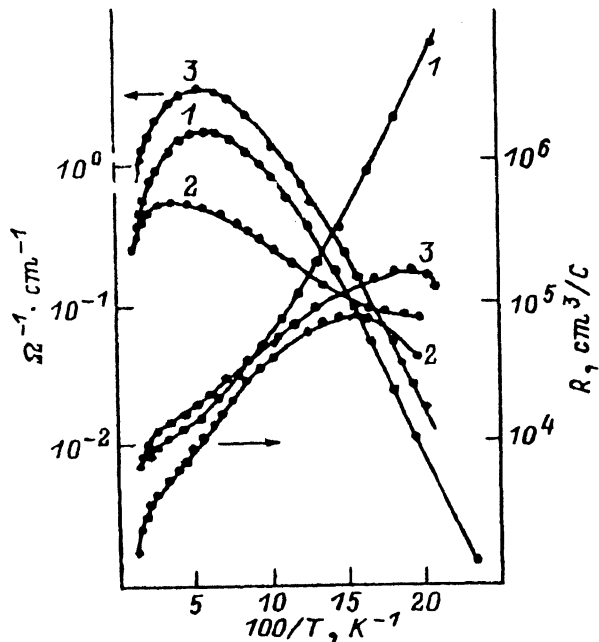


Рис. 1. Температурные зависимости коэффициента Холла R и проводимости σ .

Номер образца	$\frac{N_A - N_D}{10^{15} \text{ см}^{-3}}$	ϵ_A , мэВ
1	1.36	4.3
2	4.81	1.6
3	1.70	4.3

хностного слоя приводит к частичному восстановлению вида зависимостей $R(T)$ и $\sigma(T)$. Поперечное магнитосопротивление в исходном образце при 4.2 К носит экспоненциальный характер, а R в магнитном поле возрастает (рис. 2, кривая 1). После старения R имеет убывающую магнитополевою зависимость при 4.2 К и не зависит от H при 2 К (рис. 2, кривая 2). Поперечное магнитосопротивление состарившегося образца более чем на порядок меньше по сравнению с исходным. В магнитном поле до 10 кЭ в состарившемся образце проявлялось два типа зависимости сопротивления ρ от H . Когда сопротивление образца составляло 65.1 Ом·см при 4.2 К, на $\rho(H)$ наблюдалась «полка», которая исчезала при понижении температуры до 2 К (рис. 3). При понижении сопротивления образца в процессе старения до 25.5 Ом·см регистрировалось отрицательное магнитосопротивление (ОМС) (рис. 2, а, кривая 2). После снятия поверхностного слоя состарившегося образца значения R и ρ увеличивались, однако, вид их магнитополевых зависимостей оставался прежним.

Температурные зависимости R и σ исходного образца обусловлены в основном процессами активации дырок с акцепторов в валентную зону и рассеяния дырок на фонах и примесных атомах. После старения образца на $R(T)$ и $\sigma(T)$ появляются характерные признаки проводимости по примесной зоне — максимум $R(T)$ и перегиб $\lg \sigma(1/T)$ в области гелиевых температур. Можно предположить, что в результате естественного старения в нелегированных образцах CdSb происходит увеличение концентрации мелких акцепторов, обусловленных струк-

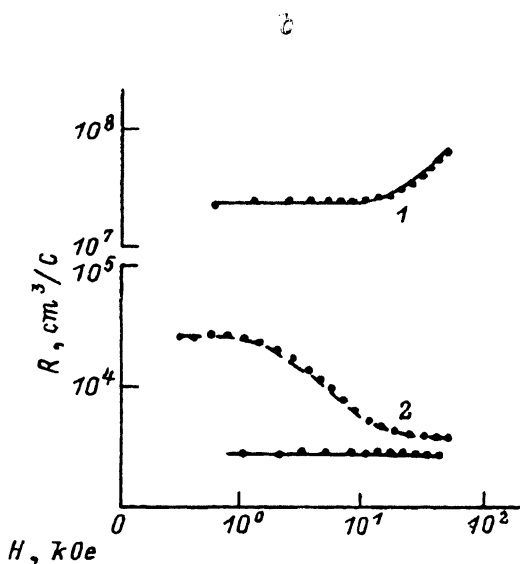
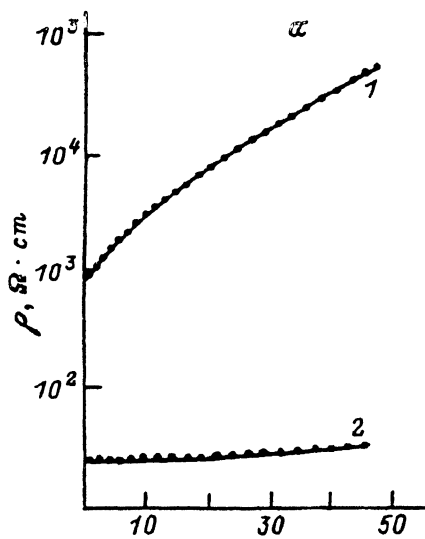


Рис. 2. а — магнитополевые зависимости удельного сопротивления ρ ; б — магнитополевые зависимости коэффициента Холла R .

турными дефектами кристаллической решетки [3]. Вследствие этого появляется примесная зона [4] и проводимость при гелиевых температурах осуществляется дырками валентной и примесной зон. Такое предположение подтверждается уменьшением при старении значения R в области примесного истощения, определяющего величину $N_A - N_D$. При этом $N_A - N_D$ увеличивается от $1.36 \cdot 10^{15}$

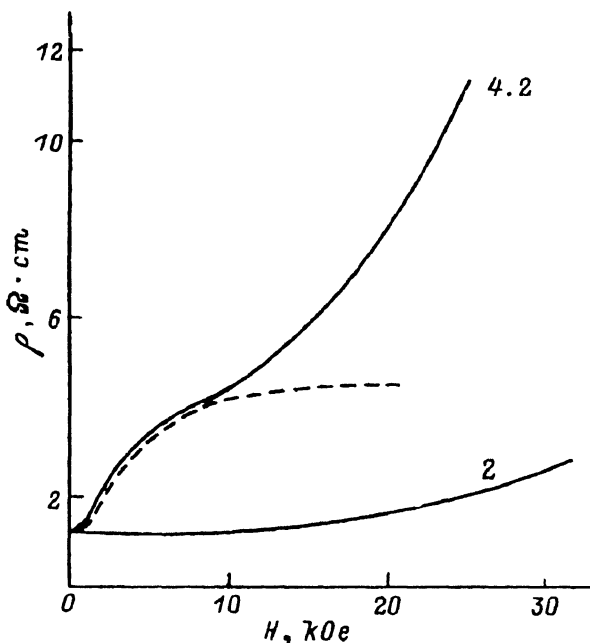


Рис. 3. Магнитополевые зависимости удельного сопротивления ρ в состарившемся образце. Постоянная составляющая скомпенсирована.

см^{-3} до $4.81 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. В работе [5] проводимость по примесной зоне наблюдалась начиная с $N_A - N_D = 2.5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$, что согласуется с нашим результатом. Магнитополевые зависимости R и ρ в исходном образце обнаруживают эффект магнитного «вымораживания» дырок на акцепторы [6]. Проводимость по примесной зоне в этом образце пренебрежимо мала (либо отсутствует вообще), что дает возможность регистрировать экспоненциальную зависимость $\rho(H)$, обусловленную уменьшением концентрации валентных дырок в магнитном поле. В состарившемся образце R и ρ определяются валентными и примесными дырками, имеющими различные концентрации и подвижности. На рис. 2, 3 пунктирные линии соответствуют расчетным для $R(H)$ и $\rho(H)$ по известным формулам двухзонной модели проводимости [7]. С понижением температуры до 2 К валентные дырки вымораживаются на акцепторы, а R и ρ определяются только примесными дырками. Полное магнитосопротивление в состарившемся образце можно объяснить, если учитывать положительное магнитосопротивление, даваемое формулой для двухзонной модели, отрицательное слагаемое и эффект магнитного «вымораживания». Снятие поверхностного слоя состарившегося образца восстанавливало вид $R(T)$ и $\sigma(T)$, что указывает на близость объемных свойств к свойствам исходного образца. Таким образом, наблюдаемые изменения свойств CdSb можно объяснить, если предположить, что в процессе старения увеличивается концентрация мелких акцепторов преимущественно вблизи поверхностного образца. Увеличение концентрации акцепторных центров в поверхностном слое нелегированного антимолида кадмия наблюдалось ранее в экспериментах с отжигом образца [8]. Предполагалось, что это связано с обеднением поверхностного слоя кристаллов атомами Cd. Согласно [9], акцепторами в нелегированном антимолиде кадмия являются вакансии Cd. Как показывают наши исследования, образование электрически активных точечных дефектов в нелегированных кристаллах CdSb с низкой концентрацией структурных дефектов происходит также и при комнатной температуре и продолжается в течение нескольких лет после выращивания материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Т. С. Гертович, И. П. Жадько, Э. А. Зинченко. УФЖ, 34, 930 (1989).
- [2] Б. Н. Грицюк. Автореф. канд. дис. Черновцы (1988).
- [3] Л. И. Анатычук, В. Д. Искра, О. Я. Лусте, И. М. Раренко. Изв. АН СССР. Неорган. материалы, 5, 1501 (1969).
- [4] N. F. Mott, W. D. Twose. Adv. Phys., 10, 107 (1961).
- [5] T. Kawasaki, T. Tanaka. J. Phys. Soc. Japan, 21, 2475 (1966).
- [6] Б. Н. Грицюк, А. В. Сирота, Д. Д. Халамейда. Твердотельная электроника миллиметрового и субмиллиметрового диапазона. Сб. науч. тр. ИРЭ АН УССР, 136. Харьков (1988).
- [7] Б. М. Аскеров. Электронные явления переноса в полупроводниках. М. (1985).
- [8] Л. И. Анатычук, В. М. Кондратенко, О. Я. Лусте, П. Х. Хавруняк. Изв. АН СССР. Неорган. материалы, 8, 653 (1972).
- [9] В. Б. Лазарев, В. Я. Шевченко, Я. Х. Гринберг, В. В. Соболев. Полупроводниковые соединения группы A^{III}B^V. М. (1978).

Редактор Т. А. Полянская